Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Paper
Vol. 15, No. 2, Summer 2023, p. 151-168

The Effect of Different Levels of Whey Powder on Growth Performance, Fermentation Parameters, Ruminal Morphology, Degradability and Microbial Protein Biosynthesis in Fattening Lambs

Mohammad Hasanpour[1], Yadollah Chashnidel [2*], Asadolah Teymouri Yanesari[2], Zarbakht Ansari Pirsarei [2]

Received: 16-05-2022
Revised: 19-07-2022
Accepted: 04-09-2022
Available Online: 04-09-2022

How to cite this article:
Hasanpour, M., Chshnidel, Y., Teymouri Yanesari, A., & Ansari Pirsarei, Z. (2023). The effect of different levels of whey powder on growth performance, fermentation parameters, ruminal morphology, degradability and microbial protein biosynthesis in fattening lambs. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *15*(2), 151-168.
DOI: 10.22067/ijasr.2022.76313.1072

Introduction: One of the valuable unconventional foods is whey powder, which is a by-product of cheese production. Whey powder is used as an important source of energy and protein in animal nutrition. By reviewing the composition of whey powder based on dry matter and comparing it with the needs of livestock, its nutritional value can be understood. Whey powder as a feedstuff also has properties of a prebiotic; it contains a significant amount of lactose that is not absorbed to a large extent, but is fermented and converted to lactic acid and volatile fatty acids, which may stimulate the establishment of lactobacilli in the small intestine. Whey powder in animal feed, in addition to preventing environmental problems, reduces feed costs and improves yield. Adding whey powder to this juice probably improves and increases the weight of animals fed with whey powder by stimulating the microorganisms of the digestive system and as a result, by better synthesizing the required nutrients and improving the absorption of nutrients from the digestive system. This study was conducted to determine the effect of different levels of whey powder on growth performance, fermentation parameters, ruminal morphology, degradability and microbial protein biosynthesis in fattening Zell lambs.

Material and methods: In the first experiment, ruminal degradability of dry matter and crude protein were measured with nylon bag technique using three fistulated Zell sheep with mean weight of about 40 kg and mean age of about 10 months. In this experiment, nylon bags made of polyester (Dacron) with a pore diameter of 45 ± 5 micrometers and dimensions of 9 ×7 cm were used. Incubation time in rumen consisted of 0, 4, 8, 16, 24, 36, 48, 72 and 96. In the second experiment, the effect of different levels of whey powder on fermentation parameters, ruminal morphology and microbial protein biosynthesis, an experiment in completely randomized design (CRD) with four diets containing zero, 1.5, 3 and 4.5 % whey powder on 24 male lambs with initial mean weight of 24± 2 kg and mean age of 4.5±0.52 months for 90 days was performed. Every day, a certain amount of feed in the form of TMR was weighed for each experimental treatment and was provided to the experimental lambs at 8 am and 5 pm. To determine the

1- Ph.D. Student in Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2- Associated professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3- professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Animal Sciences and Fisheries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
*Corresponding Author's Email: ychashnidel2002@yahoo.com

daily weight gain of the experimental lambs, weighing was done with a digital metal scale every 14 days until the end of the 90th day of the experiment. Data obtained were analyzed by statistical software SAS (version 1.9). Comparison of experimental treatment means was done using Duncan's multi-range test at a significance level of 0.05.

Results and discussion: A significant difference was observed for final weight, dry matter consumption and daily weight gain among the experimental treatments, and the highest values were found in the 4.5% whey powder treatment. Significant differences were observed in pH, ammonia nitrogen, total volatile fatty acids, and acetic acid among the experimental treatments. Specifically, the treatment with 4.5% whey powder exhibited the highest levels of fermentation parameters. Additionally, the 4.5% whey powder treatment showed the highest population of total bacteria at 2 and 4 hours after feeding, as well as the highest protozoa population at 4 hours after feeding. Moreover, the 4.5% whey powder treatment demonstrated the highest thickness, height, and density of villi compared to the other experimental treatments. Furthermore, significant differences were found in the degradability parameters of dry matter and crude protein among the experimental treatments. In particular, the soluble, degradable, and effective rumen degradability in passage rate constant parts exhibited significant differences. The amount of gas produced from the fermentable part also showed a significant difference between the experimental treatments. The control treatment showed the lowest amount of gas produced from the fermentable part, which was significantly lower than the other treatments. However, no significant difference was observed between the experimental treatments in other parameters of gas production.

The highest amount of microbial protein production was observed in the treatment of 3% whey powder.

Conclusion: The consumption of higher levels of whey powder at a maximum of 4.5% in the diet of fattening lambs improved the growth performance and some ruminal indices and decomposability of dry matter and crude protein.

Keywords: Dairy by-products, Protozoa Ruminants, Rumen villi, Volatile fatty acids

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص. ۱۶۸-۱۵۱

اثر سطوح مختلف پودر آب پنیر بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های تخمیری، ریخت‌شناسی شکمبه، تجزیه‌پذیری و تولید پروتئین میکروبی در بره‌های پرواری

محمد حسن‌پور[1]، یداله چاشنی دل[2]*، اسداله تیموری یانسری[3]، زربخت انصاری پیرسرایی[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر افزودن سطوح مختلف پودر آب پنیر بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های تخمیری، ریخت‌شناسی بافت شکمبه، تجزیه‌پذیری و تولید پروتئین میکروبی در بره‌های نر پرواری آمیخته‌های زل و افشاری انجام شد. از تعداد ۲۴ رأس بره با میانگین سن ۲۱±۱۳۵ روز و میانگین وزن اولیه ۲±۲۴ کیلوگرم در قالب طرح کاملاً تصادفی و به‌مدت ۹۰ روز برای انجام آزمایش حاضر استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (فاقد پودر آب پنیر) و تیمارهای حاوی ۱/۵، ۳ و ۴/۵ در صد پودر آب پنیر در جیره (بر اساس در صدی از ماده خشک جیره) بودند. اختلاف آماری معنی داری برای وزن پایان پروار، ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمار حاوی ۴/۵ در صد پودر آب پنیر از بیشترین مقادیر برای این پارامترها برخوردار بود. همچنین اختلاف معنی‌داری برای پی‌اچ، نیتروژن آمونیاکی، کل اسیدهای چرب فرار و اسید استیک مایع شکمبه در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمار حاوی ۴/۵ در صد پودر آب پنیر از بیشترین مقادیر برای این فراسنجه‌ها برخوردار بود. همچنین تیمار حاوی ۴/۵ در صد پودر آب پنیر دارای بیشترین جمعیت کل باکتری‌ها به‌فاصله دو و چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی و نیز بیشترین جمعیت پروتوزوآی شکمبه‌ای به‌فاصله چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی برخوردار بود. تیمار حاوی ۴/۵ در صد پودر آب پنیر از بیشترین میزان ضخامت، ارتفاع، عرض و تراکم پرزها در بین تیمارهای آزمایشی برخوردار بود. اختلاف معنی‌داری برای فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد. بخش غیرقابل تجزیه نیز در تیمار سه درصد پودر آب پنیر نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشت. اختلاف معنی‌داری در مقدار گاز تولیدی از بخش قابل تخمیر بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد. بیشترین مقدار ساخت پروتئین میکروبی در تیمار حاوی سه در صد پودر آب پنیر مشاهده شد. در مجموع، استفاده از سطوح بالاتر پودر آب پنیر (۴/۵ در صد) در جیره بره‌های پرواری سبب بهبود عملکرد رشد و برخی از شاخص‌های شکمبه‌ای و تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام شد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب فرار، پرزهای شکمبه، پروتوزوآ، دام نشخوارکننده، فرآورده‌های فرعی لبنی

مقدمه

کمبود مواد خوراکی متعارف و افزایش قیمت آن‌ها در کشور موجب شده، تا عمده بقایای صنایع مختلف کشاورزی در سطح وسیع در تغذیه دام مورد استفاده قرار بگیرند. در این میان، یکی از مواد خوراکی غیر متعارف و با ارزش، پودر آب پنیر بوده که فرآورده فرعی حاصل از تولید پنیر است. پروار حیوانات با پودر آب پنیر به‌عنوان یک روش ارزان قیمت مطرح می‌باشد که در آن هزینه خوراک به‌ازای هر کیلوگرم افزایش وزن از سایر روش‌ها کمتر می‌باشد (Barile *et al*., 2009). لذا با توجه به تولید زیاد آب پنیر در کشور (حدود دو میلیون تن در سال) و قابلیت مصرف آن توسط دام‌های نشخوارکننده، تغذیه آن در جیره این حیوانات

۱- دانشجوی دوره دکتری تغذیه دام، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳-استاد، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: ychashnidel2002@yahii.com)

DOI: 10.22067/ijasr.2022.76313.1072

یک ضرورت قابل توجیه است (Mirshahi, 2012). پودر آب پنیر، باقیمانده پنیر یا کازئین است که از پروتئین‌های حیوانی مورد استفاده در زنجیره غذایی انسانی می‌باشد. این ماده خوراکی دارای تعادل مناسبی از مواد مغذی است و می‌تواند در جیره دام استفاده شود (de Miranda *et al*., 2021). پودر آب پنیر به‌دلیل وجود بقایای مواد مغذی شیر (مانند لاکتوز، پروتئین‌ها، لیپیدها و ویتامین‌ها)، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرآورده‌های جنبی صنایع لبنی و با ارزش، در تغذیه دام وارد شده است (Yadav *et al*., 2015). لاکتوز موجود در آب پنیر به‌آسانی تخمیر شده و منبع عالی کربوهیدرات‌های با قابلیت هضم بالا (انرژی) برای میکروب‌های شکمبه می‌باشد. همچنین پودر آب پنیر دارای ۱۴ درصد پروتئین خام (بر اساس ماده خشک) می‌باشد که این پروتئین‌ها محلول و دارای کیفیت عالی می‌باشند که منبع نیتروژن مناسبی برای میکروب‌های شکمبه محسوب می‌شوند (DePeters *et al*., 1986). افزون بر این پودر آب پنیر احتمالاً از طریق تغییر در سیستم‌های آنزیمی دستگاه گوارش، کاهش اختلالات گوارشی، تحریک ریزجانداران دستگاه گوارش و بهبود جذب مواد مغذی از دستگاه گوارش، باعث بهبود عملکرد رشد در دام‌های نشخوارکننده می‌شود (Cotanch *et al*., 2006).

نتایج برخی مطالعات نشان داد که مصرف پودر آب پنیر در جیره سبب بهبود عملکرد رشد در بره‌های پرواری (Barile *et al*., 2009; Lupo *et al*., 2019) و بهبود افزایش وزن روزانه در گوساله‌ها می شود (Lammers *et al*., 1998). محققین گزارش کردند که مصرف پودر آب پنیر در دام‌های پرواری به‌دلیل افزایش جمعیت باکتری‌ها و پروتوزوآهای مایع شکمبه، به بهبود تخمیر شکمبه کمک می‌کند (Lee *et al*., 2019). پودر آب پنیر دارای خاصیت پری‌بیوتیکی نیز می‌باشد (Mirshahi, 2012)؛ به‌طوری‌که دارای مقدار قابل توجهی (حدود ۶۵ درصد) لاکتوز است که تا حدود زیادی جذب نمی‌شود، بلکه تخمیر می‌گردد و به اسید لاکتیک و اسیدهای چرب فرار، تبدیل می شود که ممکن است استقرار لاکتوباسیل‌ها را در روده باریک تحریک کند. بالا رفتن غلظت اسیدهای چرب فرار، باعث کاهش پی‌اچ دستگاه گوارش شده که این امر سبب کاهش رشد باکتری‌های بیماری‌زا می شود (Iji *et al*., 2001). نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که مصرف پودر آب پنیر در جیره سبب بهبود برخی فراسنجه‌های شکمبه ای مانند تثبیت نوسانات پی‌اچ مایع شکمبه (Zamani *et al*., 2019)، افزایش جمعیت میکروب‌های مایع شکمبه، بهبود تخمیر شکمبه‌ای (Iji *et al*., 2001)، افزایش تعداد و فعالیت جمعیت پروتوزوآی شکمبه ای (Pierce *et al*., 2006) و نیز توسعه پرزهای شکمبه (Miranda *et al*., 2019) در دام‌های نشخوارکننده می شود. همچنین نتایج یک مطالعه نشان داد که ساخت پروتئین میکروبی شکمبه‌ای در نشخوارکنندگان به‌دلیل حضور لاکتوز در پودر آب پنیر بهبود می‌یابد (Juengst, 1979). همچنین عنوان شده است که پودر آب پنیر به عنوان یکی از منابع پروتئینی تجزیه‌پذیر شکمبه‌ای بوده، که در تغذیه نشخوارکنندگان در حال رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد (DePeters *et al*., 1986).

با توجه به اینکه مطالعات اندکی در خصوص تأثیر سطوح مختلف پودر آب پنیر بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های شکمبه‌ای و تجزیه‌پذیری بره‌های پرواری انجام شده است و با توجه به افزایش روز افزون تولید آب پنیر در کشور، انجام آزمایشات علمی متعدد برای بررسی اثرات آن در تغذیه دام ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، این آزمایش با هدف بررسی اثر افزودن سطوح مختلف پودر آب پنیر به جیره بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های تخمیری، ریخت‌شناسی بافت شکمبه، تجزیه پذیری و بیوسنتز پروتئین میکروبی در بره های نر پرواری آمیخته‌های زل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ماه‌های تیر لغایت شهریور ۱۴۰۰ در یک مزرعه خصوصی پرورش گوسفند متعلق به آقای حسن‌پور واقع در استان مازندران، شهرستان ساری به‌مدت ۹۰ روز انجام شد.

آزمایش اول: در این آزمایش، اثر سطوح مختلف پودر آب پنیر بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خامِ جیره در گوسفندان فیستوله‌دار، مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین اثر پودر آب پنیر بر تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام جیره های آزمایشی، از سه رأس گوسفند زل فیستولاگذاری شده شکمبه‌ای با میانگین وزن ۲/۵±۴۰ کیلوگرم استفاده شد. دام‌ها داخل قفس‌های متابولیکی نگهداری و در ساعات هشت صبح و ۲۰ شب با جیره دارای نسبت ۷۰ به ۳۰ علوفه به کنسانتره در سطح نگهداری تغذیه می‌شدند. سه تکرار از هر نمونه (حدود سه گرم) در کیسه‌های داکرون به ابعاد ۱۴×۷ سانتی‌متر و قطر منفذ ۴۵ میکرون در ساعات متوالی صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۸، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت شکمبه گذاری شد. پیش از شکمبه‌گذاری، کیسه‌ها در آب ولرم خیسانده شده و پس از پایان زمان شکمبه‌گذاری، کیسه‌ها با جریان آرام آب سرد با ماشین لباسشویی شستشو داده شدند تا رنگ آب خروجی کاملاً شفاف شود. سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. اتلاف زمان صفر از طریق غوطه‌ور کردن سه کیسه از هر نمونه در آب ۳۹ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه و محاسبه میزان مواد ناپدید شده محاسبه شد. اندازه‌گیری درصد پروتئین خام با استفاده از روش کجلدال صورت گرفت.

با کمک نرم‌افزار Neway، میزان ناپدید شدن مواد مغذی در زمان‌های مختلف انکوباسیون و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری با استفاده از معادله ارسکوف و مکدونالد (Ørskov and McDonald, 1979) برآورد شد و برازش داده‌ها با استفاده از معادله تجزیه‌پذیری مؤثر

ارسکوف و مکدونالد (Ørskov and McDonald, 1979) انجام شد که در آن، P: مقدار تجزیه‌پذیری مؤثر ماده مغذی در زمان t، a: بخش محلولِ با سرعت تجزیه‌پذیری بالا (٪)، b: بخش نامحلول و دارای پتانسیل تجزیه‌پذیری، c: ثابت نرخ تجزیه پذیری بخش b در واحد زمان (درصد/ساعت) و k: نرخ جریان خروجی از شکمبه بود. فراسنجه‌های فوق با نرخ عبور فرضی ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ محاسبه شدند (Ørskov and McDonald, 1979). (P=a+bc/c+k)

برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های تولید گاز، با استفاده از روش منک و استینگاس (Menke and Steingass, 1988) ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه آسیاب شده (با اندازه ذرات یک میلی‌متر)، ۲۰ میلی لیتر بزاق مصنوعی و ۱۰ میلی لیتر مایع شکمبه در ویال‌های شیشه‌ای ۱۰۰ میلی لیتری (سه تکرار برای هر تیمار) ریخته شد، همچنین سه ویال شیشه‌ای به عنوان بلانک قرار داده شد. مایع شکمبه از سه رأس گوسفند فیستوله قبل از خوراک‌دهی وعده صبح گرفته و با بزاق مصنوعی با نسبت یک به دو مخلوط شد. ویال‌های شیشه‌ای در حمام آب گرم (۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شدند. میزان گاز تولیدی در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از کشت ثبت شد و فراسنجه‌ها با استفاده از معادله ۱ مورد بررسی قرار گرفتند، مقدار ME و OMD تیمارهای مختلف با استفاده از معادله ۲ و ۳ منک و استینگاس (Menke and Steingass, 1988) محاسبه شد.

معادله (۱)

$$Y = b(1 - e^{-a})$$

که در این معادله، b: تولید گاز از بخش نامحلول، ولی قابل تخمیر (میلی‌لیتر/۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، c: ثابت نرخ تولید گاز برای بخش b، t: زمان انکوباسیون و Y: گاز تولیدی در زمان t می‌باشد.

معادله (۲)

$$ME(MJ/kgDM) = 2.2 + 0.136GP + 0.0057CP + 0.0002859EE^2$$

معادله (۳)

$$OMD(g/kgDM) = 14.88 + 0.8893GP + 0.0448CP + 0.0651CA$$

که در این معادله ها، GP: گاز تولید شده زمان ۲۴ ساعت انکوباسیون، CP: میزان پروتئین خام (گرم/کیلوگرم ماده خشک) و CA: میزان خاکستر خام (گرم/کیلوگرم ماده خشک) است.

آزمایش دوم: در این آزمایش، تأثیر افزودن سطوح مختلف پودر آب پنیر بر عملکرد رشد، فراسنجه‌های تخمیری، ریخت‌شناسی بافت شکمبه، تجزیه‌پذیری و بیوسنتز پروتئین میکروبی در بره‌های نر پرواری آمیخته‌های زل و افشاری مورد بررسی قرا گرفت. بدین منظور تعداد ۲۴ رأس بره نر با وزن تقریباً یکسان استفاده شد. تیمارها شامل چهار جیره غذایی حاوی سطوح صفر (شاهد)، ۱/۵، ۳ و ۴/۵ در صد پودر آب پنیر بود که به ۲۴ رأس بره نر با میانگین وزن ۲±۲۴ کیلوگرم و میانگین سن ۲۱±۱۳۵ روز به‌مدت ۹۰ روز تغذیه شدند. جیره‌ها از نظر انرژی قابل متابولیسم و پروتئین قابل متابولیسم مشابه بودند. دام‌ها پس از انتقال به جایگاه انفرادی و طی مدت ۱۵ روز دوره عادت پذیری به جایگاه و جیره مصرفی، به مدت ۹۰ روز تحت تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند. جیره دام‌ها با نرم‌افزار سیستم تغذیه نشخوارکنندگان کوچک (SRNS[1]) تنظیم شد (Tedeschi *et al.*, 2010). خوراک به‌صورت کاملاً مخلوط و دو بار در روز و به‌فاصله ۱۲ ساعت (هشت صبح و ۲۰ عصر) در اختیار دام‌ها قرار گرفت. هر روز صبح، باقیمانده خوراک روز قبل از آخور جمع‌آوری و توزین شد. به این ترتیب، مقدار خوراک مصرفی روزانه و درصد خوراک باقی‌مانده حیوان تعیین شد. به‌منظور بررسی عملکرد پرواری دام‌ها، وزن‌کشی دام‌ها به صورت ماهانه تا پایان مدت آزمایش با اعمال ۱۲ ساعت گرسنگی قبل از توزین انجام و مقدار مصرف خوراک به صورت روزانه به‌منظور محاسبه ضریب تبدیل خوراک اندازه‌گیری شد.

پودر آب پنیر مورد استفاده محصول شرکت زرین البرز ایرانیان بود که به‌صورت پودر در کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی و در بازار مصرف عرضه شده بود. این پودر دارای اسیدیته‌ای بین ۵/۸ تا ۶/۸، پروتئین خام ۱۲/۵ درصد، لاکتوز ۶۴ درصد، چربی ۱/۵ درصد و رطوبتی معادل ۴/۵ درصد بود. همچنین پودر آب پنیر مورد استفاده طبق آنالیز شرکت تولیدکننده فاقد باکتری های *اشریشیا کولای*، *سالمونلا*، *استافیلوکوکوس* و *کلی‌فرم* بود. این پودر در سطوح مختلف پس از مخلوط شدن با جیره مصرفی، در اختیار دام‌های آزمایشی قرار گرفت.

مایع شکمبه بره‌های آزمایشی در روز ۹۰ آزمایش دو ساعت بعد از مصرف خوراک با استفاده از لوله مری، از شکمبه بره‌های آزمایشی مایع شکمبه گرفته شد. با استفاده از دستگاه پی‌اچ‌متر دیجیتال قابل حمل (مدل ۸۲۷ متروم[2]) اندازه‌گیری پی‌اچ مایع شکمبه بلافاصله بعد از گرفتن نمونه مایع شکمبه بره‌های آزمایشی انجام شد. برای جلوگیری از تأثیر بزاق بر پی‌اچ مایع شکمبه، نخستین نمونه گرفته شده دور ریخته شد. سپس نمونه مایع شکمبه با پارچه متقال چهار لایه صاف شده و نمونه‌ای از آن برای تعیین نیتروژن آمونیاکی و ترکیب اسیدهای چرب فرار به‌طور جداگانه برداشته (۱۰ میلی‌لیتر) سپس به آن معادل همان حجم اسید کلریدریک ۰/۲ نرمال اضافه و برای تجزیه آزمایشگاهی در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه بره‌های آزمایشی با استفاده از روش تیتراسیون (Conway, 1950) انجام شد.

1- Small Ruminant Nutrition System (SRNS)

1- Metrohm

جدول ۱– اقلام خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره‌های آزمایشی مورد استفاده (درصدی از ماده خشک)

Table 1- Ingredients and chemical composition of the experimental diets (% of DM)

اقلام Ingredients	تیمارهای آزمایشی Experimental diets			
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder
یونجه خشک Alfalfa hay	25	25	25	25
کاه گندم Wheat straw	5	5	5	5
دانه ذرت Corn grain	22.3	22.3	22.3	22.3
دانه جو Barley grain	26	26	26	26
سبوس گندم Wheat bran	10.4	8.9	7.4	5.9
کنجاله سویا (۴۴ درصد پروتئین خام) Soybean meal (44% CP)	10	10	10	10
پودر آب پنیر Whey powder	0	1.5	3	4.5
مکمل معدنی+ویتامینی [1] Mineral + vitamin premix	0.5	0.5	0.5	0.5
پودر صدف Oyster powder	0.5	0.5	0.5	0.5
نمک Salt	0.3	0.3	0.3	0.3
ترکیب شیمیایی Chemical composition				
انرژی قابل سوخت و ساز (مگاکالری/کیلوگرم ماده خشک) ME (Mcal/kg DM)	2.78	2.89	2.92	2.96
پروتئین خام (درصدی از ماده خشک) Crude protein (% of DM)	14.25	14.28	14.31	14.40
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصدی از ماده خشک) NDF (% of DM)	34.45	33.28	34.19	33.30
کلسیم (درصدی از ماده خشک) Calcium (% of DM)	0.69	0.68	0.66	0.67
فسفر (درصدی از ماده خشک) Phosphorus (% of DM)	0.32	0.31	0.33	0.32

[1] هر کیلوگرم از مکمل ویتامینی شامل ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D_3 و یک گرم ویتامین E. هر کیلوگرم از مکمل معدنی شامل ۱۸۰ گرم کلسیم، ۹۰ گرم فسفر، ۲۰ گرم منیزیم، ۶۰ گرم سدیم، دو گرم منگنز، سه گرم آهن، ۰/۳ گرم مس، سه گرم روی، یک گرم کبالت، یک گرم سلنیوم، یک گرم ید، سه گرم آنتی‌اکسیدانت.

[1] Mineral vitamin mix composition: 500,000 IU/kg of vitamin A; 100,000 IU/kg of vitamin D_3; 1 g/kg of vitamin E; Mineral mineral mix composition: Mg; 180 g/kg of Ca; 90 g/kg of P; 20 g/kg of Mn; 60 g/kg of Na; 2 g/kg of Mn; 3 g/kg of Zn; 1 g/kg of Co; 1 g/kg of Se; 1 g/kg of I; 3 g/kg of antioxidants.

در این روش، ۵۰ میلی‌لیتر از مایع شـــــکمبه در ظرف دربدار ریخته و ۰/۸ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال به آن اضافه شد. نمونه‌ها در فریزر ۱۰- درجه ســانتی‌گراد تا زمان اندازه‌گیری نگهداری شــدند. پس از یخ‌گشــایی نمونه‌ها با تقطیر آمونیاک شــکمبه و جمع‌آوری آن با اســـتفاده از تیترازول اســـید ســـولفوریک ۰/۱ نرمال، نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه تعیین شـــد. اندازه‌گیری ترکیب اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه شامل استیک، پروپیونیک، بوتیریک، والریک و ایزووالریک به‌روش اوتنســتین و بارتلی (Ottenstein and Bartley, 1971) با اســتفاده از دســتگاه گاز کروماتوگرافی (GC – PU4410 – PHILIPS) با ستون شیشه‌ای (۱/۶۵ متر × ۴/۶ میلی متر) انجام شـــد. میزان تزریق نمونه‌ها به ســـتون یک میکرولیتر بود. دمای محل تزریق و محل تشخیص ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. دمای

اولیه ستون برابر با ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بود که پس از به‌میزان پنج درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و به‌مدت یک دقیقه در این دما باقی ماند. در نهایت، دمای ستون به میزان نه درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۲۱۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و این دما به‌مدت ۱۰ دقیقه به‌منظور خارج شدن همه نقطه‌های اوج (پیک‌ها) و اطمینان از تمیز شدن ستون حفظ شد. از نیتروژن به‌عنوان گاز حامل ا ستفاده شد. جهت برر سی خ صو صیات ریخت شنا سی بافت دیواره شکمبه بره‌ها، در پایان آزمایش سه بره از هر تیمار به‌طور تصادفی انتخاب، ذبح و دستگاه گوارش آن‌ها جدا شد. پس از بستن انتها و ابتدای آن، چربی ذخیره‌ای جدا شده، وزن پر و خالی شکمبه، نگاری، هزارلا و شیردان تعیین شدند. سپس با آب سرد به‌خوبی شسته، شکمبه و نگاری توسط چاقو باز شده و از نه نقطه (سه محل در هر قسمت از مرکز، کیسه‌های پشتی و شکمی) و از هر نقطه سه نمونه به اندازه یک سانتی‌مترمربع نمونه‌گیری و نمونه با محلول ۲۰ در صد فرمالین ثابت شده و بهو سیله د ستگاه میکرو سکوپ بینی کولار با بزرگ‌نمایی ۲۰ صفات طول، عرض پرزها (۱۰ پرز از هر نمونه)، ضخامت دیواره شکمبه و با بزرگ‌نمایی ۱۰ تراکم پرزها در هر سانتی‌مترمربع در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (Greenwood *et al.*, 1997).

پس از آخرین وزن‌کشی دوره پرواربندی و قبل از کشتار، نمونه گیری از مایع شکمبه برای اندازه‌گیری جمعیت کل باکتری‌ها (سه ساعت بعد مصرف وعده خوراک صبح) انجام شد، به‌طوری‌که بلافاصله نمونه‌ها در فلاسک آب گرم (۳۹ درجه سانتی‌گراد) به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه محیط کشت (شامل محلول نمکی ۱ حاوی فسفات هیدروژن دی پتاسیم و محلول نمکی ۲ حاوی فسفات دی هیدروژن پتا سیم، سولفات آمونیوم، کلرید سدیم و کلرید کلسیم) با پی‌اچ ۷/۵۸ تهیه (Orpin, 1977) و سپس مقداری از مایع شکمبه با محلول رقیق‌سازی مخلوط و رقت‌های ۰/۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ تهیه و سپس از هر رقت سه تکرار با تلقیح ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رقیق در محیط ک شت تهیه شد و با گازدهی با CO_2 به‌مدت ۳۰ ثانیه درب لوله‌های کشت محکم بسته شد و در انکوباتور با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از ۱۴ روز برر سی و قرائت پی‌اچ و با تغییر پی‌اچ و مشاهده رنگ کدر و خاکستری در ته هر لوله، رشد باکتری مثبت تلقی شد و سپس با استفاده از جداول MPV (محتمل‌ترین روش) شمارش انجام شد (Dehority, 2003). برای اندازه‌گیری جمعیت پروتوزوآهای مایع شکمبه بره‌های آزمایشی در روز ۹۰ آزمایش، تعداد سه رأس بره از هر تیمار انتخاب شد. ۲۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه با ا ستفاده از لوله پلا ستیکی از شکمبه حیوان در یک ساعت قبل از وعده خوراک، یک و سه ساعت بعد از وعده خوراک صبح از شکمبه حیوانات گرفته شد. با ا ستفاده از پارچه متقال چهار لایه صاف و با حجم مساوی از فرمالین ۱۸ درصد مخلوط و پس از رنگ‌آمیزی با رنگ متیلن بلو، بریلیانت گرین و لوگول در تاریکی و در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. برای شمارش یک میلی‌لیتر از نمونه رنگ‌آمیزی شده و با نه میلی‌لیتر گلیسرول ۳۰ در صد رقیق و سپس شمارش مژک‌داران با استفاده از لام نئوبار و میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴۰ انجام شد. هر نمونه چهار بار با لام هماسیتومتر (نئوبار) مورد شمارش قرار گرفت. نتایج شمارش به‌صورت غلظت (تعداد پروتوزوآ در هر میلی‌لیتر از مایع شکمبه) با ا ستفاده از معادله ۴ گزارش شد (Dehority, 2003).

$$N = 10/4 \times a \times d \qquad \text{(۴) معادله}$$

که در این معادله، N: تعداد مژه‌داران در یک میلی‌لیتر از مایع شکمبه، a: تعداد مژه‌داران در چهار بخش در لام هماسیتومتر (نئوبار) و d: نرخ رقت نمونه است.

به‌منظور تعیین مشتقات پورینی ادرار، کل ادرار تولیدی ۲۴ ساعته هر حیوان در پنج روز نمونه‌گیری در ظرف‌های مخصوص زیر قفس های متابولیسمی، جمع‌آوری شد. نمونه‌های ادرار جمع‌آوری‌شده هر حیوان در پایان هر دوره با هم مخلوط شد و ۲۰ میلی‌لیتر از آن، در دمای ‎-۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای تعیین مجموع گزانتین و هیپوگزانتین از روش آنزیمی (کیت‌های X7373 و H9377 شرکت سیگما) ا ستفاده شد. بر ا ساس این روش مجموع گزانتین و هیپوگزانتین نمونه‌ها از طریق واکنش تحت تأثیر آنزیم گزانتین اکسیداز در انکوباسیون به‌مدت ۶۰ دقیقه و دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به اسید اوریک به جذب نوری در طول موج ۲۹۳ نانومتر دستگاه اتو آنالیزر (مدل RA1000) تعیین شد که با در نظر گرفتن حجم ادرار، تولید روزا نه مجموع گزانتین و هیپوگزانتین شد (Chen *et al.*, 1990). برای محاسبه پروتئین میکروبی طبق مراحل ذیل اقدام شد:

۱-ابتدا بر اساس فرمول و با روش چن و گومز (Chen and Gomes, 1992) از مشتقات پورینی دفع شده (مجموع آلانتوئین و اسید اوریک)، پورین‌های جذب شده (میلی‌مول بر میلی‌لیتر) اندازه گیری شد.

$$Y = 0.84X + (0.15W75e - 0.25X) \qquad \text{(۵) معادله}$$

که در این معادله، Y: مشتقات پورینی دفع شده (میلی‌مول در میلی‌لیتر ادرار)، X: پورین های جذب شده (میلی‌مول در میلی‌لیتر ادرار)، W: وزن متابولیکی (کیلوگرم) و e: عدد ثابت نپر (۲/۷۱۸) بود.

اگر کل دفع ادرای مشتقات پورینی بیشتر از ۰/۶ میلی‌مول به‌ازای هر کیلوگرم وزن متابولیکی در روز باشد، سهم پورین‌های با منشأ درونی خیلی کم خواهد بود و ممکن ا ست صفر با شد. در این صورت مقدار پورین‌های جذب شده برحسب معادله زیر به‌دست می‌آید (Chen and Gomes, 1992).

$$X = Y \div 084 \qquad \text{(براگ) معادله}$$

۲- بر ا ساس معادله زیر نیتروژن میکروبی (گرم در میلی‌لیتر ادرار) اندازه‌گیری شد (Chen and Gomes, 1992).

معادله (۶) $(0.83 \times 0.116 \times 1000) \div 70X$=نیتروژن میکروبی

که در این معادله، X: پورین‌های جذب شـــده (به‌دســـت آمده از فرمول اول)، Y: مقدار ازت موجود در پورین‌ها (میلی‌گرم در میلی‌مول)، ۰/۸۳: قابلیت هضم پورین میکروبی و ۰/۱۱۶: نسبت ازت پورینی به کل ازت موجود در میکروب‌های شکمبه می‌باشد.

۳- مقادیر به‌دست آمده نیتروژن میکروبی را در عدد ۶/۲۵ ضرب نموده و مقدار پروتئین میکروبی (گرم در میلی‌لیتر ادرار) محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های این آزمایش در قالب طـرح کـاملاً تصـادفی بـا چهار تیمـــار و شش تکرار و با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) (SAS, 2001) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. مدل آماری این طرح شامل $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود. در این مدل Y_{ij}: متغیر وابســـته، μ: میانگین کل، T_i: اثر تیمار و e_{ij}: اثرات اشــتباه آزمایشی است. مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون چنـــد دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام شد (Duncan, 1955).

نتایج و بحث

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام

نتایج فراســنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشـک و پروتئین خام در جدول ۲ نشان داد که در بخش سریع‌تجزیه (محلول)، قابـل تجزیـه، غیرقابـــل تجزیه و نرخ ثابت تجزیه تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشـی وجود دارد ($P<0.05$). با مصـرف سـه درصـد پودر آب پنیر مقادیر بخش‌های محلول، قابل تجزیه و نرخ ثابت تجزیه نســبت به ســایر تیمارها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین مقادیر بخش غیرقابل تجزیه نیز در تیمار سه در صد پودر آب پنیر نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری یافت.

در فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام، تیمار ۱/۵ درصد پودر آب پنیر به‌طور معنی‌داری ســبب افزایش بخش محلول و تیمار ســه درصـد پودر آب پنیر سـبب کاهش بخش محلول شـد. تیمار ۳ و ۴/۵ درصـد پودر آب پنیر به‌ترتیب سـبب افزایش و کاهش بخش غیرقابل تجزیه شد. نرخ ثابت تجزیه در تیمار ۳ و ۴/۵ در صد پودر آب پنیر به ترتیب ســبب افزایش و کاهش نرخ ثابت تجزیه شــد. در یک مطالعه گزارش شـده اسـت که میزان تجزیه‌پذیری شـکمبه‌ای مؤثر سـه نوع پودر آب پنیر (با نام‌های تجاری شیذر، نصر دالیا و پگاه) به‌طور معنی داری تحت تأثیر قرار گرفت (Tanha, 2020). بخش قابل تجزیه خوراک اهمیت تغذیه‌ای زیادی دارد. زیرا نسبت مهمی از ترکیبات این بخش شامل نشاسته غیرمحلول و مقاوم به حل شدن در آب می‌باشد (Van Soest *et al*., 1991). همزمان با افزایش نرخ تجزیه پذیری ماده خشک، مقدار نشاسته قابل دسترس برای میکروب‌های افزایش می‌یابد. بنابراین، مواد خوراکی با نرخ تجزیه‌پذیری پایین‌تر، مطلوب‌تر خواهند بود (Ghorbani and Hadj-Hussaini, 2002). باتوجه به نقش پری‌بیوتیکی پودر آب پنیر در افزایش بقای باکتری‌های شـکمبه و نیز افزایش جذب آمونیاک، ســاخت پروتئین میکروبی بهبود می‌یابد (de Miranda *et al*., 2021;). گزارش شده است که مصرف آب پنیر در جیره گاوهای گوشـــتی ســـبب افزایش ظاهری نرخ ناپدیدشـــدن پروتئین خام در مایع شـکمبه شـد (Nocek and Kautz, 2006). از دلایل احتمالی نتایج متفاوت در فراســنجه های تجزیه پذیری در مطالعات علمی مختلف می‌توان به عواملی نظیر رفتارهای تغذیه‌ای، سلامت دام، ماهیت و روابط بین جمعیت‌های میکروبی مایع شکمبه، ماهیت و ترکیب شـیمیایی جیره، مقدار ماده خشـک مصـرفی، تعداد دفعات خوراک اشـــاره کرد که می‌توانند تراکم گروه های مختلف ریزجانداران شـکمبه را تحت تأثیر قرار دهد (Forbes and France, 1993).

فراسنجه‌های آزمون تولید گاز

نتایج مربوط به فراســنجه‌های تولید گاز در جدول ۳ نشـــان داده شده است. تفاوت معنی‌داری برای مقدار گاز تولید شده از بخش قابل تخمیر در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد ($P<0.05$). بیشترین و کمترین مقدار گاز تولیدی از بخش قابل تخمیر به‌ترتیب در شـــاهد و تیمار حاوی سه در صد آب پنیر مشاهده شد. در سایر فراسنجه‌های تولید گاز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشـــی مشـــاهده نشـــد. گزارش شـــده اســـت که مقدار گاز تولیدی و پتانســـیل تولید گاز بین تیمـارهـای آزمـایشـــی حـاوی آب پنیر معنی‌دار نبود (Mousavi Anijdan *et al*., 2016). علائی باهر و همکاران (Alaei Baher *et al*., 2019) گزارش دادند که تیمارهای حاوی آب پنیر نسبت به شاهد دارای حجم گاز تولیدی بالاتری در ساعات مختلف انکوباسیون بود.

دفع مشتقات پورینی و ساخت پروتئین میکروبی

نتایج مربوط به دفع مشـتقات پورینی و سـاخت پروتئین میکروبی در جدول ۴ نشان می‌دهد که برای آلانتوئین دفعی و پروتئین میکروبی تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P<0.05$).

جدول ۲- اثر تیمارهای آزمایشی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام (درصد)

Table 2- The effect of experimental treatments on the parameters of dry matter and crude protein degradability (%)

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-Value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک Dry matter degradability parameters						
بخش محلول Soluble part	30.7[a]	27.5[ab]	25.1[b]	29.1[a]	0.66	0.002
بخش کندتجزیه Slowly degradable	63.2	60.4	60.1	61.1	1.34	0.15
بخش قابل تجزیه Degradable part	93.8[a]	87.9[ab]	85.2[b]	90.2[ab]	0.41	0.003
بخش غیرقابل تجزیه Undegradable part	6.11[b]	12.04[ab]	14.8[a]	9.77[ab]	0.06	0.002
نرخ ثابت تجزیه Degradation rate	5.19[a]	4.24[ab]	3.11[b]	3.23[b]	0.14	0.001
تجزیه‌پذیری مؤثر ماده مغذی در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective rumen degradability in passage rate constant (%/h)						
۰/۰۲	49.7[a]	41.5[ab]	36.3[b]	45.1[ab]	1.07	0.003
۰/۰۴	43.3[a]	37.1[ab]	34.1[b]	39.4[ab]	0.74	0.003
۰/۰۶	38.1[a]	32.6[ab]	32.6[ab]	35.4[a]	0.98	0.002
فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام Crude protein degradability parameters						
بخش محلول Soluble part	9.04[ab]	11.2[a]	8.16[b]	10.4[b]	0.78	0.001
بخش کندتجزیه Slowly degradable	85.4	81.1	83.1	84.2	1.59	0.75
بخش قابل تجزیه Degradable part	94.5[a]	92.3[b]	91.3[b]	94.6[a]	0.52	0.001
بخش غیرقابل تجزیه Undegradable part	5.50[b]	7.65[ab]	8.70[a]	5.33[b]	0.05	0.002
نرخ ثابت تجزیه Degradation rate	3.11[ab]	2.95[ab]	3.70[a]	2.44[b]	0.16	0.002
تجزیه پذیری موثر ماده مغذی در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective rumen degradability in passage rate constant (%/h)						
۰/۰۲	44.2[a]	42.5[a]	39.1[b]	41.2[ab]	1.12	0.003
۰/۰۴	40.2[a]	41.1[a]	36.7[b]	37.1[b]	0.69	0.002
۰/۰۶	35.5[a]	36.4[a]	32.2[b]	33.9[b]	0.82	0.002

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند ($p<0/05$)

Means within same row with different superscripts differ ($P<0.05$).

جدول ۳- اثر تیمارهای آزمایشی بر برخی فراسنجه‌های تولید گاز (میلی‌لیتر در ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)

Table 3- Effect of experimental treatments on some gas production parameters (ml/200 mg DM)

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-Value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
دارای پتانسیل تولید گاز (b) Potential gas production (b)	53.3^{b}	57.6^{a}	59.2^{a}	55.1^{ab}	1.37	0.02
ثابت نرخ تولید گاز Constant rate of gas production (c, %/h)	0.08	0.09	0.08	0.08	0.002	0.17
میزان گاز تولیدی در زمان ۹۶ ساعت انکوباسیون The gas production at 96 h of incubation	60.1	61.3	58.2	59.6	1.49	0.36
قابلیت هضم مواد آلی Organic matter digestibility (%)	64.7	65.3	64.3	65.6	0.98	0.10
انرژی قابل سوخت و ساز ME (Mj/kg DM)	9.6	9.7	9.5	9.4	0.13	0.08

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵)

Means within same row with different superscripts differ (P<0.05).

بیشـــترین و کمترین مقدار آلانتوئین دفعی به‌ترتیب در تیمار ۴/۵ درصد آب پنیر و تیمار ۱/۵ درصد آب پنیر و بیشترین و کمترین مقدار پروتئین میکروبی به‌ترتیب در تیمار ســه درصــد آب پنیر و تیمار ۱/۵ درصد آب پنیر مشاهده شد. در سایر مشتقات پورینی ادرار تفاوت معنی داری در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد. یکی از دلایل احتمالی بهبود ساخت پروتئین میکروبی در تیمار دریافت‌کننده پودر آب پنیر در تحقیق حا ضر این بود که مصرف آب پنیر ا ستفاده از نیتروژن را برای ساخت پروتئین میکروبی افزایش می‌دهد. همچنین پودر آب پنیر چون دارای لاکتوز ا ست و لاکتوز مت شکل از گلوکز و گالاکتوز در شکمبه تخمیر می‌شود، این امر سبب افزایش ساخت پروتئین میکروبی در دام های نشـــخوارکننده می‌شـــود (Windschitl and Schingoethe, 1984). مطالعات نشان داد که نوع پودر آب پنیر مورد استفاده در جیره (شیرین یا تخمیر شده) و ترکیبات شیمیایی آن سبب بروز تفاوت در نتایج مربوط به نرخ ساخت پروتئین میکروبی در تحقیقات مختلف می شود (Lammers *et al*., 1998).

جدول ٤- اثر تیمارهای آزمایشی بر دفع مشتقات پورینی ادرار و ساخت پروتئین میکروبی

Table 4- The effect of experimental treatments on excretion of urinary purine derivatives and microbial protein production

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-Value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
آلانتوئین دفعی (میلی‌مول در روز) Allantoin excretion (mmol/day)	8.11^{a}	7.23^{b}	9.11^{a}	9.66^{a}	0.21	0.001
اسید اوریک (میلی‌مول در روز) Uric acid (mmol/day)	0.41	0.38	0.40	0.39	0.04	0.65
گزانتین و هیپوگزانتین (گرم در روز) Xanthine and hypoxanthine (g/day)	1.33	1.56	1.23	1.48	0.15	0.30
مشتقات پورینی (میلی‌مول در روز) Purine derivatives (mmol/day)	11.2	9.07	10.66	11.4	1.08	0.40
پروتئین میکروبی (گرم در روز) Microbial protein (g/day)	44.1^{ab}	40.2^{b}	47.7^{a}	46.1^{a}	1.29	0.002

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵)

Means within same row with different superscripts differ (P<0.05).

آب پنیر به‌عنوان یکی از منابع پروتئینی تجزیه‌پذیر شـــکمبه‌ای بوده، که در تغذیه نشـخوارکنندگان در حال رشـد مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد (DePeters *et al*., 1986). نشـان داده شـده اسـت که با مصـرف آب پنیر توسـط نشـخوارکنندگان به‌دلیل افزایش جمعیت پروتوزوآ مایع شکمبه (Lee *et al*., 2019)؛ و به‌دنبال آن بهبود تجزیه الیاف خام، ساخت میکروبی پروتئین افزایش می‌یابد (Maiga *et al*., 1996). گزارش شده است که ساخت پروتئین میکروبی شکمبه‌ای به دلیل حضور لاکتوز در پودر آب پنیر بهبود می‌یابد (Juengst, 1979). اندازه‌گیری پروتئین میکروبی در شکمبه می‌تواند و ضعیت متابولیسم نیتروژن در شـکمبه را نشـان دهد. احتمالاً فراهم بودن انرژی قابل تخمیر برای ریزجانداران شـکمبه به‌دلیل لاکتوز موجود در آب پنیر، منجر به افزایش نرخ تولید پروتئین میکروبی شده است (Russell *et al*., 1992). کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی با تغذیه پودر آب پنیر به بره‌های آزمایشی در تحقیق حاضر، می‌تواند به‌دلیل استفاده مناسب از نیتروژن آزاد شده در شکمبه و همزمانی آزادشدن نیتروژن آمونیاکی و انرژی جیره جهت ساخت پروتئین میکروبی باشد و به همین دلیل دفع نیتروژن از شـکمبه نیز کمتر بوده اسـت (Salary *et al*., 2013). همچنین دو شرط اساسی برای استفاده بهینه از نیتروژن آمونیاکی در ساخت پروتئین میکروبی شامل غلظت مطلوب نیتروژن آمونیاکی تولید شـده در شـکمبه و در دسـترس بودن منبع انرژی برای ریزجانداران عنوان شـده اسـت (Russell *et al*., 1992) که در تحقیق حاضـر، افزایش ساخت پروتئین میکروبی در تیمارهای دریافت‌کننده سه درصد پودر آب پنیر احتمالاً مربوط به اسـتفاده بهینه از نیتروژن آمونیاکی تولید شده در شکمبه است (Salary *et al*., 2013).

پروتئین میکروبی در تأمین نیاز نیتروژن نشـخوارکنندگان نقش مهمی دارد و اکثر اسـیدهای‌آمینه مورد نیاز برای رشـد، نگهداری و تولید حیوان میزبان را فراهم می‌کند (Vaithiyanathan *et al*., 2007). مشـتقات پورینی ادرار برای تخمین پروتئین میکروبی در شکمبه حیوانات نشخوارکننده استفاده می شود، زیرا یک همبستگی میان جریان دئودنومی اسـیدهای نوکلئیک و مشـتقات پورینی گزارش شده است (Chen *et al*., 1990). در تحقیق حاضر اثرات مثبت پودر آب پنیر در تولید پروتئین میکروبی موجب کاهش دفع آلانتوئین شـد. احتمالاً کاهش تولید پروتئین میکروبی در شـکمبه می‌تواند در نهایت، سبب دفع کمتر آلانتوئین شود (Makkar, 2003).

عملکرد رشد (ماده خشک مصرفی، وزن بدن و ضریب تبدیل غذایی)

نتایج مربوط به صـفات عملکردی بره‌های پرواری در جدول ۵ نشـان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری در صـفات وزن پایان پروار، ماده خشک مصرفی و افزایش وزن روزانه در بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد (P<۰/۰۵). بیشترین و کمترین وزن پایان دوره پروار به‌ترتیب در تیمار حاوی ۴/۵ درصـد آب پنیر و شـاهد، بیشـترین و کمترین ماده خشـک مصـرفی به‌ترتیب در تیمار سـه درصـد آب پنیر و شـاهد و همچنین بیشـترین و کمترین افزایش وزن روزانه به‌ترتیب در تیمار ۴/۵ در صد آب پنیر و شاهد مشاهده شد. همسو با این نتایج، برخی مطالعات نشان دادند که مصرف آب پنیر سبب افزایش ماده خشک مصرفی (DePeters *et al*., 1986; Eseceli *et al*., 2021) و بهبود رونـد افزایش وزن (DeFrain *et al*., 2004; Lammers *et al*., 1998) در دام‌های نشخوارکننده شد. افزودن پودر آب پنیر احتمالاً از طریق تغییر در سـیسـتم‌های آنزیمی، کاهش اختلالات گوارشـی و تحریک ریزجانداران دسـتگاه گوارش و بهتر نمودن جذب مواد مغذی از دسـتگاه گوارش باعث بهبود و افزایش وزن دام‌های تغذیه شـده با آب پنیر می‌شـود (Chung and Day, 2004) که می‌تواند از دلایل احتمالی بهبود عملکرد رشد در بره‌های مصرف‌کننده پودر آب پنیر در تحقیق حاضر باشد.

نتایج چندین مطالعه نشـان داد که مصـرف آب پنیر در جیره اثر معنی‌داری بر ضریب تبدیل غذایی بره‌های پرواری ندارد (Barile *et al*., 2009; Poliquit and Sanchez, 2013) که با نتایج تحقیق حاضـر مطابقت داشـت. پودر آب پنیر به‌دلیل وجود بقایای مواد مغذی شـیر مانند لاکتوز، پروتئین‌ها، لیپیدها، ویتامین‌ها و برخی مواد معدنی به‌عنوان یک منبع بالقوه مواد مغذی برای رشـد حیوان و نیز نقش پروبیوتیکی آب پنیر (Mirshahi, 2012; Miranda *et al*., 2019)، مصـرف آن در جیره دام‌های پرواری می‌تواند به‌عنوان یکی از عوامل بهبود عملکرد رشـد معرفی شـود. یکی دیگر از دلایل احتمالی بهبود وزن نهایی و ماده خشک مصرفی بره‌های پرواری در اثر مصرف پودر آب پنیر در تحقیق حاضر می‌تواند به این دلیل باشد که پودر آب پنیر دارای محتوای بـالای پروتئین و انرژی (لاکتوز) (Poliquit and Sanchez, 2013) و نیز دارای خاصـیت بهبوددهنده طعم خوراک است (Sedaghat *et al*., 2019).

جدول ۵- اثر تیمارهای آزمایشی بر عملکرد رشد بره‌های پرواری

Table 5- The effect of experimental treatments on the growth performance of fattening lambs

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder	خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-value
وزن اولیه پروار (کیلوگرم) Initial weight of fattening (kg)	25.60	26.13	25.38	24.66	2.01	0.648
وزن نهایی پروار (کیلوگرم) Final weight of fattening (kg)	43.13^{b}	47.88^{ab}	46.33^{ab}	49.50^{a}	1.03	0.027
ماده خشک مصرفی (گرم) Dry matter intake (g)	1454^{b}	1623^{ab}	1797^{a}	1713^{a}	40.22	0.001
افزایش وزن روزانه (گرم) Daily weight gain (g)	227.1^{b}	245.4^{ab}	262.8^{a}	275.3^{a}	4.61	0.002
ضریب تبدیل غذایی FCR	6.33	6.87	6.75	6.42	0.26	0.195

میانگین‌های هر ردیف با حروف متفاوت در سطح آماری ۰/۰۵ دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

The mean of each row with different letters have significant difference (P<0.05).

گزارش شده است که هضم مؤثر و بیشتر پروتئین پودر آب پنیر در روده باریک (قابلیت هضم حدود ۶۵ در صد در نشخوارکنندگان) با توجه به قابلیت هضم بالای محتوی پروتئینی آب پنیر به‌دلیل مقادیر بالای اسیدهای آمینه لیزین و ترئونین (Mehri *et al.*, 2004) نسبت به سایر محتویات پروتئینی جیره (Gülşen *et al.*, 2002) احتمالاً می توانند سبب جذب بالاتر مواد مغذی و در پی آن بهبود عملکرد رشد در حیوان میزبان شود (El-Tanboly and El-Hofi Khoeshid, 2017). نتیجه یک تحقیق روی بره های پرواری بیان کرد که وزن پایانی بدن با مصرف پودر آب پنیر نسبت به شاهد بهبود یافت (Nocek and Kautz, 2006).

فراسنجه های شکمبه‌ای (پی‌اچ، نیتروژن آمونیاکی و اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه)

نتایج مربوط به فراسنجه‌های شکمبه‌ای بره‌های پرواری در جدول ۶ نشان داد که تفاوت معنی‌داری در پی‌اچ مایع شکمبه، نیتروژن آمونیاکی، کل اسیدهای چرب فرار و اسید استیک در بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد (P<۰/۰۵). بیشترین و کمترین مقدار پی‌اچ مایع شکمبه به‌ترتیب در تیمارهای ۱/۵ و ۳ درصد پودر آب پنیر، بیشترین و کمترین غلظت نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه به‌ترتیب در تیمار ۴/۵ درصد پودر آب پنیر و شاهد، بیشترین غلظت کل اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه به‌ترتیب در تیمار ۴/۵ درصد آب پنیر و شاهد و همچنین بیشترین و کمترین غلظت اسید استیک به‌ترتیب در تیمار حاوی ۴/۵ در صد آب پنیر و شاهد مشاهده شد. نتایج حاضر بیانگر بهبود برخی شاخص‌های شکمبه‌ای به‌خصوص کاهش نوسانات پی‌اچ مایع شکمبه و افزایش نسبت اسیدهای چرب فرار به‌ویژه اسیداستیک در اثر مصرف ۴/۵ درصد پودر آب پنیر توسط بره‌های پرواری می‌باشد. تخمیر لاکتوز آب پنیر (نقش پری‌بیوتیکی) در دستگاه گوارش حیوان میزبان و تبدیل آن به اسید لاکتیک و اسیدهای چرب فرار استقرار لاکتوباسیل‌ها را در روده تحریک می‌کند و در ادامه، بالا رفتن غلظت اسیدهای چرب، باعث کاهش پی‌اچ دستگاه گوارش و سبب کاهش رشد باکتری‌های بیماری‌زا می‌شود (Gülşen *et al.*, 2002; Patel, 2015). نتیجه یک مطالعه نشان داد که پی‌اچ مایع شکمبه گاوهای شیری در تیمارهای حاوی آب پنیر نسبت به شاهد بالاتر بود (Zamani *et al.*, 2019).

در یک مطالعه بیان شد که با افزایش سطح پروتئین تک سلولی حاصل از آب پنیر مقدار پی‌اچ و غلظت نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه بره‌های زل کاهش یافت (Mousavi Anijdan *et al.*, 2016). تیوند (Thivend, 1978) گزارش داد که لاکتوز موجود در آب پنیر به‌سرعت توسط باکتری‌ها و پروتوزوآ در شکمبه تجزیه و به اسید لاکتیک تبدیل می‌شود که سبب کاهش پی‌اچ مایع شکمبه شد. همچنین گزارش شده است که مصرف آب پنیر در گاوهای فیستوله شده باعث کاهش پی‌اچ شکمبه در ۱/۵ و ۳ ساعت بعد از مصرف خوراک صبح شد (Thivend, 1978). نتیجه یک مطالعه روی تلیسه‌ها نشان داد که مصرف پودر آب پنیر به‌دلیل کاهش نرخ تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه، سبب کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه نسبت به شاهد شد (Shapiro and Volcani, 1977).

جدول ٦- اثر تیمارهای آزمایشی بر pH، نیتروژن آمونیاکی و اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه بره‌های پرواری در پایان آزمایش

Table 6- Effect of experimental treatments on pH, ammonia nitrogen and ruminal VFA of fattening lambs at the end of the experiment

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
pH مایع شکمبه Rumen fluid pH	6.29^{ab}	6.61^{a}	6.18^{b}	6.49^{a}	0.10	0.02
نیتروژن آمونیاکی (میلی‌گرم/دسی‌لیتر) Ammonia nitrogen (mg/dL)	10.82^{b}	12.44^{a}	11.2^{ab}	13.5^{a}	0.34	0.02
کل اسیدهای چرب فرار (میلی مول/لیتر) Total VFA (mmol/L)	88.6^{b}	92.1^{ab}	91.0^{ab}	97.3^{a}	2.09	0.03
اسید استیک Acetic acid	44.5^{b}	49.8^{ab}	50.7^{ab}	55. 6^{a}	1.61	0.03
اسید پروپیونیک Propionic acid	26.6	24.6	22.34	24.8	1.23	0.19
اسید بوتیریک Butyric acid	14.6	14.9	15.3	14.2	1.38	0.24
اسید والریک Valeric acid	1.54	1.61	1.43	1.24	0.26	0.41
اسید ایزووالریک Isovalric acid	1.34	1.21	1.45	1.51	0.29	0.62
نسبت استات به پروپیونات Acetate /propionate	1.88	2.21	2.41	2.28	0.17	0.49

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵)

Means within same row with different superscripts differ (P<0.05).

تغذیه گوساله‌های نر پرواری با پودر آب پنیر به‌دلیل استفاده باکتری‌های شکمبه از لاکتوز به‌عنوان سوبسترا جهت تولید اسید بوتیریک، سبب افزایش غلظت بوتیرات و اسیدهای چرب فرار در مایع شکمبه شد (Grummer *et al.*, 1983). یکی از دلایل احتمالی کاهش پی‌اچ مایع شکمبه در بره‌های دریافت‌کننده سه درصد آب پنیر در تحقیق حا ضر نسبت به شاهد، به‌دلیل نقش پری‌بیوتیکی پودر آب پنیر در کاهش پی‌اچ مایع شکمبه‌به وسیله افزایش جمعیت پروتوزوآ ا ست (Brossard *et al.*, 2006). کاهش پی‌اچ مایع شکمبه می‌تواند نا شی از تخمیر سریع‌تر مواد مغذی و افزایش نسبت مولی ا سیدهای چرب فرار در مایع شکمبه باشد (Steele *et al.*, 2011). کاهش میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه، در اثر مصرف پودر آب پنیر توسط بره‌های پرواری در تحقیق حاضر را می‌توان یکی از دلایل اصلی کاهش معنی‌دار سطح نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه عنوان کرد (Stienezen *et al.*, 1996). لاکتوز موجود در آب پنیر یکی از منابع مهم انرژی برای میکروب‌های شکمبه محصوب شده که امکان استفاده از نیتروژن غیرپروتئینی در شکمبه را ممکن می‌سازد (DeFrain *et al.*, 2004). کاهش میزان نیتروژن آمونیاکی مایع شکمبه همراه با کاهش سطح نیتروژن اوره‌ای خون، احتمالاً می‌تواند سبب ابقاء بی شتر نیتروژن در بدن حیوانات شود (Scharenberg *et al.*, 2007). نشان داده شده که کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی به دلیل استفاده بهینه از نیتروژن سبب افزایش ساخت پروتئین میکروبی در شکمبه می‌شود (Van Soest *et al.*, 1991).

جمعیت پروتوزوآ و کل باکتری‌های مایع شکمبه

نتایج مربوط به جمعیت پروتوزوآها و جمعیت کل باکتری‌های مایع شکمبه بره‌های پرواری در جدول ۷ نشان می‌دهد که تفاوت معنی‌داری برای جمعیت کل باکتری‌ها در زمان‌های دو و چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی و همچنین در جمعیت پروتوزوآهای مایع شکمبه در زمان چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی در بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد (P<۰/۰۵). بیشترین جمعیت کل باکتری‌های مایع شکمبه در دو و چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی به‌ترتیب در تیمار ۳ و ۴/۵ درصد پودر آب پنیر مشاهده شد. بیشترین جمعیت پروتوزوآهای مایع شکمبه در چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی در تیمار ۴/۵ درصد پودر آب پنیر مشاهده شد. این نتایج حاکی از بهبود جمعیت ریزجانداران مایع

شکمبه با مصرف پودر آب پنیر در بره‌های پرواری بود. تخمیر لاکتوز موجود در پودر آب پنیر منجر به تولید کربوهیدرات‌های با قابلیت تخمیر بالا برای ریزجانداران شکمبه‌ای می‌شود (Miron et al., 1990). همچنین پودر آب پنیر به‌دلیل دارا بودن پروتئین‌ها محلول با کیفیت عالی، منبع نیتروژن مناسبی برای میکروب‌های مایع شکمبه بره‌های پرواری بودند و به دنبال آن افزایش جمعیت باکتری‌های مایع شکمبه در تحقیق حاضر قابل پیش‌بینی بود (Bayat, 2002). لی و همکاران (Lee et al., 2019) عنوان کردند که مصرف پودر آب پنیر در گاوهای نر سبب افزایش معنی‌دارِ جمعیت میکروب‌های شکمبه و بهبود تخمیر شکمبه‌ای می‌شود.

جعفری خورشیدی و حسین پور (Jafari Khorshid and Hosseinpour, 2008) گزارش دادند که جمعیت پروتوزوآ مایع شکمبه در گوسفند با مصرف آب پنیر افزایش داشت. یکی از دلایل احتمالی افزایش جمعیت باکتری‌ها و پروتوزوآهای مایع شکمبه‌ به بره‌های پرواری در تحقیق حاضر، استفاده از لاکتوز پودر آب پنیر به عنوان منبع انرژی توسط باکتری‌های مایع شکمبه می‌باشد (Miron et al., 1990). علاوه‌براین، آب پنیر می‌تواند نوع، فعالیت یا محیط میکروب‌ها را تغییر دهد (Galloway et al., 1992). همچنین پودر آب پنیر به‌عنوان نقش پری‌بیوتیکی آن می‌تواند باعث تثبیت پی‌اچ مایع شکمبه شده و از این طریق می‌تواند باعث افزایش تعداد و فعالیت پروتوزوآی مایع شکمبه شود (DeFrain et al., 2004; Pierce et al., 2006).

جدول ۷- اثر تیمارهای آزمایشی بر جمعیت کل باکتری‌ها و پروتوزوآهای مایع شکمبه بره‌های پرواری در پایان آزمایش

Table 7- The effect of experimental treatments on the total population of rumen bacteria and protozoa in fattening lambs at the end of the experiment

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
جمعیت کل باکتری‌ها Total bacterial population						
۱۰^۹ × تعداد در هر میلی‌لیتر مایع شکمبه Number per ml of ruminal fluid $\times 10^9$						
ساعت صفر (قبل از خوراک‌دهی) Zero hour (before feeding)	2.27	2.30	2.28	2.32	0.04	0.27
دو ساعت بعد از خوراک‌دهی 2 hours after feeding	2.08^{b}	2.18^{ab}	2.27^{a}	2.22^{a}	0.03	0.027
چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی 4 hours after feeding	1.94^{b}	2.09^{ab}	2.05^{ab}	2.18^{a}	0.04	0.04
جمعیت پروتوزوآها Protozoan populations						
۱۰^۶ × تعداد در هر میلی‌لیتر مایع شکمبه Number per ml of ruminal fluid $\times 10^6$						
ساعت صفر (قبل از خوراک‌دهی) Zero hour (before feeding)	4.36	4.51	4.64	4.49	0.06	0.15
دو ساعت بعد از خوراک‌دهی 2 h after feeding	4.13	4.29	4.46	4.59	0.07	0.46
چهار ساعت بعد از خوراک‌دهی 4 hours after feeding	3.23^{b}	3.47^{ab}	3.54^{ab}	3.87^{a}	0.07	0.03

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵)

Means within same row with different superscripts differ (P<0.05).

خصوصیات ریخت‌شناسی بافت دیواره شکمبه

نتایج خصوصیات پرزها و ریخت شناسی شکمبه بره‌های پرواری در جدول ۸ نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ضخامت، ارتفاع، عرض و تراکم پرزهای شکمبه بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد (P<۰/۰۵). مصرف سه درصد پودر آب پنیر به‌طور معنی‌داری سبب افزایش ضخامت و تراکم پرزهای شکمبه شد. همچنین ارتفاع و عرض پرزهای شکمبه با مصرف ۴/۵ در صد پودر آب پنیر به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی بالاتر بود.

جدول ۸- اثر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات توسعه پرزهای شکمبه بره‌های پرواری در پایان آزمایش

Table 8- The effect of experimental treatments on the developmental characteristics of rumen villi of fattening lambs at the end of the experiment

صفات Items	تیمارهای آزمایشی Experimental treatments				خطای استاندارد میانگین SEM	احتمال معنی‌داری P-value
	شاهد Control	۱/۵ درصد پودر آب پنیر 1.5% whey powder	۳ درصد پودر آب پنیر 3% whey powder	۴/۵ درصد پودر آب پنیر 4.5% whey powder		
وزن شکمبه-نگاری (کیلوگرم) Weight of rumen- reticulum (kg)	1.24	1.36	1.28	1.40	0.11	0.75
حجم شکمبه- نگاری (لیتر) Volume of rumen- reticulum (liters)	6.21	6.78	6.92	7.10	0.47	0.42
ضخامت دیواره شکمبه (میلی‌لیتر) Thickness of rumen wall (mm)	1.35[b]	1.46[ab]	1.56[a]	1.41[ab]	0.03	0.02
ارتفاع پرزهای شکمبه (میلی‌لیتر) Height of rumen villi (mm)	2.58[b]	2.74[ab]	2.66[ab]	2.79[a]	0.03	0.02
عرض پرزهای شکمبه (میلی‌لیتر) of rumen villi (mm) Width	1.29[b]	1.35[b]	1.45[a]	1.52[a]	0.03	0.03
تراکم پرزها (تعداد در سانتی‌مترمربع) Density of villi (number/square centimeter)	71.5[b]	84.3[a]	91.6[a]	80.2[ab]	3.02	0.03

میانگین‌های هر ردیف با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵)

Means within same row with different superscripts differ (P<0.05).

نتایج دو مطالعه نشـــان داد که مصـــرف پودر آب پنیر در تغذیه دام‌های نشـــخوارکننده با افزایش غلظت اســـیدهای چرب فرار مایع شـکمبه، سـبب توسـعه بافت‌های شـکمبه شـد (Brossard *et al.*, 2006; Iji *et al.*, 2001). میراندا و همکاران (Miranda *et al.*, 2019) گزارش دادند که توســـعه پرزهای شـــکمبه در گوســـاله‌های دریافت‌کننده آب پنیر نسبت به شاهد بالاتر بود. گزارش شده است که ارتفاع پرزهای شکمبه در گوساله‌های هلشتاین دریافت‌کننده پودر آب پنیر نسـبت به شـاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود (de Miranda *et al.*, 2021). با مصـــرف جیره حاوی پودر آب پنیر، به‌دلیل اســـتفاده میکروب های شـــکـم‌به از لاکتوز به‌عنوان منبع انرژی و در نتیجه، افزایش نرخ تولید اســـیدهای چرب زنجیره کوتاه، توســـعه پرزهای شکمبه اتفاق می‌افتد (de Miranda *et al.*, 2021). نتیجه دو مطالعه نشـــان داد که مصـــرف پودر آب پنیر در جیره ســـبب افزایش غلظت اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه در گوسفند (Anderson, 1975) و گوساله‌های پرواری (Bragg *et al.*, 1986) شد. با توجه به اینکه رشد و تکامل طبیعی پرزهای شکمبه به جذب اسیدهای چرب فرار وابسته است (Krause and Oetzel, 2006)؛ لذا با افزایش غلظت آن در اثر مصرف پودر آب پنیر در تحقیق حاضر، روند توسعه پرزهای شکمبه قابل پیش‌بینی بود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج نشان داد که وزن پایان دوره پروار و ماده خشک مصرفی به‌ترتیب با مصرف سطوح ۴/۵ و ۳ درصد پودر آب پنیر بهبود یافته اســت. بهبود در برخی فراســنجه‌های شــکمبه‌ای شــامل کاهش نوسانات پی‌اچ و نیتروژن آمونیاکی، افزایش کل اسیدهای چرب فرار و اسید استیک مایع شکمبه، افزایش جمعیت پروتوزوآ و کل باکتری‌های مایع شکمبه و نیز پرزهای شکمبه با مصرف سطح ۴/۵ در صد پودر آب پنیر مشاهده شد. همچنین بهبود در فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری مـاده خشک و پروتئین خام و نیز افزایش ساخت پروتئین میکروبی در تیمار ۴/۵ و ۳ درصد پودر آب پنیر حاصل شد. با توجه به نتایج حاصل، مصرف سطوح بالاتر پودر آب پنیر حداکثر ۴/۵ درصد در جیره مصرفی بره‌های پرواری به بهبود پارامترهای شـکمبه‌ای و تجزیه‌پذیری کمک خواهد نمود.

References

1. Alaei Baher, S., Mohammadzadeh, H., Taghizadeh, A., & Hosseinkhani, A. (2019). The effect of bacterial and prebiotic additives on chemical composition, gas production and aerobic stability of corn silage. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *2*,193-179. (In Persian). https://doi.org/10.22067/IJASR.V10I2.63019 .
2. Anderson, M. J. (1975). Metabolism of liquid whey fed to sheep. *Journal of Dairy Science*, *12*,1856-1859. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(75)84798-9 .
3. Arowolo, M. A., & He, J. (2018). Use of probiotics and botanical extracts to improve ruminant production in the tropics: A review. *Animal Nutrition*, *3*,241-249. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.010 .
4. Barile, D., Tao, N., Lebrilla, C. B., Coisson, J. D., Arlorio, M., & German, J. B. (2009). Permeate from cheese whey ultrafiltration is a source of milk oligosaccharides. *International Dairy Journal*, *19*(9), 524-530. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.03.008 .
5. Bragg, D. S. A., Murphy, M. R., & Davis, C. L. (1986). Effect of source of carbohydrate and frequency of feeding on rumen parameters in dairy steers. *Journal of Dairy Science*, *69*(2), 392-402. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80417-9 .
6. Brossard, L., Chaucheyras-Durand, F., Michalet-Doreau, B., & Martin, C. (2006). Dose effect of live yeasts on rumen microbial communities and fermentations during butyric latent acidosis in sheep: new type of interaction. *Animal Science*, *82*(6), 829-836. https://doi.org/10.1017/ASC200693 .
7. Bayat, A. (2002). The use of whey instead of water and its effect on the performance of Holstein fattening calves. Master Thesis, Department of Animal Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian).
8. Chen, X. B., & Gomes, M. J. (1992). Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: an overview of the technical details. International Feed Resources Unit Rowett Research Institute, Bucksburn Aberdeen AB2 9SB, UK Occasional Publication.
9. Chen, X. B., Hovell, F. D., Ørskov, E. R., & Brown, D. S. (1990). Excretion of purine derivatives by ruminants: effect of exogenous nucleic acid supply on purine derivative excretion by sheep. *British journal of Nutrition*, *63*(1), 131-142. https://doi.org/10.1079/bjn19900098 .
10. Conway, E. J. (1950). Micro-diffusion analysis and volumetric error, Crosby. Lockwood and Son Ltd, London.
11. Cotanch, K. W., Darrah, J. W., Webster, T. M., & Hoover, W. H. (2006). The effect of feeding lactose in the form of whey permeates on the productivity of lactating dairy cattle. WH Miner Agric. Res. Inst. Chazy, NY. www. whminer. com/research/whm-06-1. pdf. Accessed Jan, 7, 2013.
12. Chung, C. H., & Day, D. F. (2004). Efficacy of Leuconostoc mesenteroides (ATCC 13146) isomaltooligosaccharides as a poultry prebiotic. *Poultry Science*, *83*(8), 1302-1306. https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1302 .
13. Dehority, B. A. (2003). Rumen Microbiology. London, UK. Nottingham University.
14. DeFrain, J. M., Hippen, A. R., Kalscheur, K. F., & Schingoethe, D. J. (2004). Feeding lactose increases ruminal butyrate and plasma β-hydroxybutyrate in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *87*(8), 2486-2494. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73373-1 .
15. DePeters, E. J., Fisher, L. J., & Stone, J. L. (1986). Effect of adding dried whey to starter diet of early and late weaned calves. *Journal of Dairy Science*, *69*(1), 181-186. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(86)80384-8 .
16. De Miranda, M. V. F., Teófilo, T. D. S., de Assis, A. P. P., Leite, H. M. D. S., de Moura, A. K., Melo, V. L. D. L., ... & Lima, P. D. O. (2021). Morphological and Volumetric Characteristics of Holstein-Gir Crossbred Calves' Stomachs Fed Diets Comprising Cheese Whey and Milk Powder. *Journal of Sustainable Development*, *14*(2). https://doi.org/10.5539/jsd.v14n2p179 .
17. Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, *11*(1), 1-42. https://doi.org/10.2307/3001478 .
18. El-Tanboly, E. S., El-Hofi, M. K., & Khorshid, A. (2017). Recovery of cheese whey, a by-product from the dairy industry for use as an animal feed. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, *6*(5), 148. https://doi.org/10.15406/jnhfe.2017.06.00215 .
19. Eseceli, H., Esen, S., Keten, M., Altıner, A., & Bilal, T. (2021). Effect of Whey Protein-Enriched Water on Performance and in Vivo Carcass Measurements in Fattening Merino Lambs. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, *36*(1), 61-65. https://doi.org/10.47059/alinteri/V36I1/AJAS2101 .
20. Forbes, J. M., & France, J. (1993). Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Cab International.
21. Galloway Sr, D. L., Goetsch, A. L., Sun, W., Forster Jr, L. A., Murphy, G. E., Grant, E. W., & Johnson, Z. B. (1992). Digestion, feed intake, and live weight gain by cattle consuming bermudagrass hay supplemented with whey. *Journal of Animal Science*, *70*(8), 2533-2541. https://doi.org/10.2527/1992.7082533x .
22. Ghorbani, G. R., & Hadj-Hussaini, A. (2002). In situ degradability of Iranian barley grain cultivars. *Small Ruminant Research*, *44*(3), 207-212. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00082-2 .
23. Greenwood, R. H., Morrill, J. L., Titgemeyer, E. C., & Kennedy, G. A. (1997). A new method of measuring diet abrasion and its effect on the development of the forestomach. *Journal of Dairy Science*, *80*(10), 2534-2541. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76207-6 .
24. Gülşen, N., Coşkun, B., Umucalilar, H. D., Inal, F., & Boydak, M. (2002). Effect of lactose and dried whey supplementation on growth performance and histology of the immune system in broilers. *Archives of Animal Nutrition*, *56*(2), 131-139. https://doi.org/10.1080/00039420214186 .
25. Grummer, R. R., Staples, C. R., & Davis, C. L. (1983). Effect of defaunation on ruminal volatile fatty acids and pH

of steers fed a diet high in dried whole whey. *Journal of Dairy Science, 66*(8), 1738-1741. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)82000-1 .
26. Jafari Khorshidi, K., & Hosseinpour, A. (2008). The effect of using different levels of fermented and concentrated whey in the diet on the rate of microbial protein synthesis and changes in protozoan populations in sheep rumen. *Journal of Clinical Research in Large Livestock, 8*. (In Persian).
27. Iji, P. A., Saki, A., & Tivey, D. R. (2001). Body and intestinal growth of broiler chicks on a commercial starter diet. 1. Intestinal weight and mucosal development. *British Poultry Science, 42*(4), 505-513. https://doi.org/10.1080/00071660120073151 .
28. Jeacocke, R. E. (1977). Continuous measurements of the pH of beef muscle in intact beef carcases. *International Journal of Food Science & Technology*, 12(4), 375-386. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb00120.x.
29. Juengst Jr, F. W. (1979). Use of total whey constituents–Animal feed. *Journal of Dairy Science, 62*(1), 106-111. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83210-5 .
30. Krause, K. M., & Oetzel, G. R. (2006). Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: A review. *Animal Feed Science and Technology, 126*(3-4), 215-236. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.004 .
31. Lammers, B. P., Heinrichs, A. J., & Aydin, A. (1998). The effect of whey protein concentrate or dried skim milk in milk replacer on calf performance and blood metabolites. *Journal of Dairy Science, 81*(7), 1940-1945. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75767-4 .
32. Lee, S. B., Lee, K. W., Lee, J. S., Kim, K. H., & Lee, H. G. (2019). Impacts of whey protein on starch digestion in rumen and small intestine of steers. *Journal of Animal Science and Technology, 61*(2), 98. https://doi.org/10.5187/jast.2019.61.2.98 .
33. Lupo, C. R., Grecco, F. C. D. A. R., Eleodoro, J. I., Filho, L. F. C. C., Serafim, C. C., dos Santos, J. S., & Hernandes, C. (2019). Viability of the use of bovine milk whey at lamb finishing: performance, carcass, and meat parameters. *Journal of Applied Animal Research, 47*(1), 449-453. https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1653302 .
34. Makkar, H. P. (2003). Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research, 49*(3), 241-256. https://doi.org/10.1016/S0921-4488(03)00142-1 .
35. Maiga, H. A., Schingoethe, D. J., & Henson, J. E. (1996). Ruminal degradation, amino acid composition, and intestinal digestibility of the residual components of five protein supplements. *Journal of Dairy Science, 79*(9), 1647-1653. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76528-1 .
36. Mehri, M., Zare, S. A., & Samie, A. (2004). The effects of supplementation of whey powder on broiler performance. *Iranian Journal of Agricultural Science, 4*, 1007-1013.
37. Menke, H. H., & Steingass, H. (1988) Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development, 28*, 7-55.
38. Mirshahi, S. (2012). Whey is a source of probiotics, *Veterinary Journal, 47*, 77-80 (In Persian).
39. Miranda, M. V. F. G. D., Morais, M. R. P. T. D., Lima, R. N. D., Leite, H. M. D. S., Assis, A. P. P. D., Teófilo, T. D. S., & Lima, P. D. O. (2019). Performance and development of gastric compartments of calves fed with cheese whey and transition milk. *Ciência Rural*, 49. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190308 .
40. Miron, J., Ben-Ghedalia, D., Yokoyama, M. T., & Lamed, R. (1990). Some aspects of cellobiose effect on bacterial cell surface structures involved in lucerne cell walls utilization by fresh isolates of rumen bacteria. *Animal Feed Science and Technology, 30*(1-2), 107-120. https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90055-D .
41. Mousavi Anijdan, S. T., Chashnidel, Y., Teymouri Yansari, A., & Jafari Sayadi, A. (2016). The Effect of Different Levels of Single Cell Whey Protein on Feed Consumption, Dry and Nutrient Digestibility and Rumen Parameter of Gas Production in Zell Breeding Phases, 2nd National Congress of New Technologies of Iran Aiming at Sustainable Development, Tehran, Iran. (In Persian).
42. Nik-Khah, A. (1984). The growth and carcass quality of Afshari, Turkey and Mehraban lambs on different diets. In *Proceedings of the Australian Society of Animal Production, 15*, 498–499.
43. Nocek, J. E., & Kautz, W. P. (2006). Direct-fed microbial supplementation on ruminal digestion, health, and performance of pre-and postpartum dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 89*(1), 260-266. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72090-2 .
44. Orpin, C. G. (1977). The rumen flagellate Piromonas communis: its life-history and invasion of plant material in the rumen. *Microbiology, 99*(1), 107-117. https://doi.org/1010.1099/00221287-99-1-107 .
45. Ottenstein, D. M., & Bartley, D. A. (1971). Separation of free acids C2–C5 in dilute aqueous solution column technology. *Journal of Chromatographic Science, 9*(11), 673-681. https://doi.org/10.1093/chromsci/9.11.673 .
46. Ørskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science, 92*(2), 499-503. https://doi.org/10.1017/S0021859600063048 .
47. Patel, S. (2015). Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead. *Journal of Functional Foods, 19*, 308-319. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040 .
48. Pierce, K. M., Sweeney, T., Brophy, P. O., Callan, J. J., Fitzpatrick, E., McCarthy, P., & O'Doherty, J. V. (2006). The effect of lactose and inulin on intestinal morphology, selected microbial populations and volatile fatty acid concentrations in the gastro-intestinal tract of the weanling pig. *Animal Science, 82*(3), 311-318. https://doi.org/10.1079/ASC200634 .

49. Poliquit, A. R., & Sanchez, S. L. (2013). Performance of Growing Lambs as Influenced by Liquid Acid Whey Supplementation. *Annals of Tropical Research, 35*(1), 61-73. https://doi.org/10.32945/atr3515.2013 .
50. Russell, J. B., O'connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science, 70*(11), 3551-3561. https://doi.org/10.2527/1992.70113551x .
51. Sedaghat, A., Ghorchi, T., & Toghdari, A. (2019). The effect of using different levels of whey powder on performance, digestibility and blood parameters in fattening periods, Master Thesis, Animal Science Engineering, Animal Nutrition, Faculty of Animal Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian).
52. Salary N, A., M. H. Fathi Nasri, H. Farhangfar, and H. Naeemipour. 2013. Effect of two different levels of fiber on feed intake, average daily gain, feed efficiency and ruminal metabolites of Holstein calves. *Iranian Journal of Animal Science Research, 4*, 323-334. https://doi.org/10.22067/ijasr.v4i4.20332 .
53. SAS. (2001). Statistical Analysis System User's Guide: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
54. Scharenberg, A., Arrigo, Y., Gutzwiller, A., Wyss, U., Hess, H. D., Kreuzer, M., & Dohme, F. (2007). Effect of feeding dehydrated and ensiled tanniferous sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) on nitrogen and mineral digestion and metabolism of lambs. *Archives of Animal Nutrition, 61*(5), 390-405. https://doi.org/10.1080/17450390701565081 .
55. Shapiro, D., & Volcani, R. (1977). Liquid acid whey to growing heifers. 2nd ed. Min. Agric., Cattle Div., Ext. Serv. (Hebrew).
56. Serafim, C. C., de Almeida Rego, F. C., Fabris, J. T., Molina, J. F., Lupo, C. R., Gasparini, M. J., & dos Santos, J. S. (2017). Consumo de nutrientes e perfil metabólico de cordeiros confinados com diferentes teores de soro de leite em pó na dieta. *Uniciências, 21*(1), 7-11. https://doi.org/10.17921/1415-5141.2017v21n1p7-11 .
57. Steele, M. A., Croom, J., Kahler, M., AlZahal, O., Hook, S. E., Plaizier, K., & McBride, B. W. (2011). Bovine rumen epithelium undergoes rapid structural adaptations during grain-induced subacute ruminal acidosis. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 300*(6), R1515-R1523. https://doi.org/10.1152/ajpregu.00120.2010 .
58. Stienezen, M., Waghorn, G. C., & Douglas, G. B. (1996). Digestibility and effects of condensed tannins on digestion of sulla (*Hedysarum coronarium*) when fed to sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research, 39*(2), 215-221. https://doi.org/10.1080/00288233.1996.9513180 .
59. Tanha, T. (2020). Study of whey powder proteins and determination of rumen fegradation by nylon bag method. *Journal of Experimental Animal Biology, 29*,141-133. (In Persian).
60. Tedeschi, L. O., Cannas, A., & Fox, D. G. (2010). A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Research, 89*(2-3), 174-184. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.041 .
61. Thivend, P. (1977).Use of whey in feeding ruminants with particular reference to pollution problems. *World Animal Review*. FAO. Italy. 23-32.
62. Vaithiyanathan, S., Bhatta, R., Mishra, A. S., Prasad, R., Verma, D. L., & Singh, N. P. (2007). Effect of feeding graded levels of Prosopis cineraria leaves on rumen ciliate protozoa, nitrogen balance and microbial protein supply in lambs and kids. *Animal Feed Science and Technology, 133*(3-4), 177-191. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.04.003 .
63. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science, 74*(10), 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2 .
64. Windschitl, P. M., & Schingoethe, D. J. (1984). Microbial protein synthesis in rumens of cows fed dried whole whey. *Journal of Dairy Science, 67*(12), 3061-3068. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81673-2 .
65. Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances, 33*(6), 756-774. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002 .
66. 66-Zamani, J., Azizi, A., & Jahani Azizabadi, H. (2019). The effect of alfalfa replacement with straw processed with sodium hydroxide and whey on yield, characteristics of rumen fermentation, milk production and chemical metabolites of Holstein lactating cows, Master Thesis in Animal Nutrition, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Iran. (In Persian).